

На правах рукописи



ХОРОХОРИН МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ  
СИСТЕМ С НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРОЙ,  
ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СОКРАЩЕНИЕ ВРЕМЕНИ РАСЧЕТА

Специальность 05.13.17  
«Теоретические основы информатики»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Тамбов - 2014

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО ТГТУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,  
**Громов Юрий Юрьевич**

Официальные оппоненты: **Ланкин Олег Викторович**, доктор технических наук, доцент, Воронежский институт государственной связи (филиал) Академии Федеральной службы охраны Российской Федерации, кафедра общепрофессиональных дисциплин, начальник

**Скрыль Сергей Васильевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана» (Национальный Исследовательский Университет техники и технологий), кафедра «Защита информации», профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Защита диссертации состоится 29 декабря 2014 г. в 13.30 на заседании диссертационного совета Д 212.038.24 при ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет» по адресу: 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1, ауд. 226.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», <http://www.science.vsu.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Воронина Ирина Евгеньевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Современное общество характеризуется широким использованием и непрерывным совершенствованием информационных систем (ИС), которые в большинстве своем имеют развитую структуру и обеспечивают эффективное принятие решений в различных сферах деятельности. Такими системами являются, например, информационные системы, обеспечивающие поддержку принятия управленческих решений, мониторинга, прогнозирования в сферах жилищно-коммунального хозяйства, транспорта, муниципального управления, связи и др. Совершенствование ИС приводит к усложнению их топологической структуры и в большинстве случаев она является комбинаторной т.е. состоит из множества узлов связанных между собой информационными потоками и характеризуется экстремальностью нагрузок и влиянием негативных внешних воздействий (НВВ). Это приводит к изменению или уничтожению информационных потоков, которые характеризуются соответствующими наборами параметров. Информационная структура может не выполнять возложенные на нее функции или может быть разрушена вследствие сбоев, разрывов информационных потоков, перегрузок, выхода из строя ее элементов и возникновения дефектов, имеющих место как в процессе эксплуатации, так вследствие воздействия НВВ. В связи с этим необходимо построить математическое описание информационных структур, позволяющее проанализировать работу информационных структур в различных условиях, а именно: как в условиях эксплуатации так действия НВВ. Использование детерминированного и стохастического подходов сопряжено со значительными трудностями, которые определяются отсутствием экспериментальных данных, недостаточным объемом статистической информации, отсутствием жестких функциональных зависимостей, связывающие между собой параметры информационных процессов, протекающих в информационных структурах и их характеристики. В следствии этого математическим аппаратом, для проведения анализа информационных структур современных ИС является теория нечетких множеств, позволяющая рассматривать эти структуры как нечеткие. Нечеткость информационных структур (НИС) этих систем определяется территориальной распределенностью, количеством элементов и многообразием связей между ними, дальностью передачи между узлами, возможностью разрыва связей, сложностью системы, действием трудноформализуемых НВВ. Развитие ИС, имеющих НИС увеличивает возможность их уязвимости за счет влияния негативных внешних воздействий (НВВ), как непреднамеренного, так и преднамеренного характера. Поэтому исключительно важной является задача получения оценок живучести НИС за определенное время. Требования к времени получения оценки живучести информационных структур определены ГОСТом Р 53111-2008 и обусловлены необходимостью быстрого перестроения структуры для парирования влияния НВВ.

В связи с этим актуальной является задача сокращения времени расчета оценки живучести систем с НИС с целью повышения эффективности их функционирования в условиях НВВ.

Результаты анализа методов получения оценок живучести систем с НИС доказывают необходимость их развития в условиях действия НВВ, приводящих к изменению, как самих структур, так и параметров их характеризующих.

**Степень разработанности темы исследования.** Значительный вклад в разработку вопросов теории живучести структур различного рода назначения и применения внесли работы, как отечественных авторов (Д.Л. Белоцерковский, Л. С. Бернштейн, И.Н. Боженок, А.Н. Борисов, В.М. Вишневский, Ю.Ю.Громов, А.Г. Додонов, В.Ф. Крапивина, В.В. Круглов, М.Г. Кузнецова, Д.В. Ландэ, Ю.Е. Малашенко, А.Н. Мелихов, Ю.Е. Мельникова, Ю.М. Парфенова, А.В. Поспелов, В.М. Розенберг, И.А. Рябинина, И.Ю. Стекольников, Б.С. Флейшмана), так и зарубежных авторов (С.Л. Colbourn, К. Sekine, Н. Imai, S. Tani, А.Е. Smith, Y.Tutte, Д. Дюбуа, А. Прад, и др.), в которых разработаны математические модели и методы, с помощью которых можно получить оценки живучести информационных структур. Однако эти методы имеют ограниченное применение для получения оценок живучести НИС и требуют существенных временных затрат при получении оценок живучести в силу ряда особенностей, а именно вычислительной трудоемкости и невозможности формализации ряда параметров и характеристик НИС.

Системы с НИС характеризуются множеством параметров и характеристик, таких как территориальной распределенностью, количеством элементов и многообразием связей между ними, дальностью передачи между узлами, возможностью разрыва связей, сложностью системы, которые влияют на работоспособность и живучесть, как отдельных элементов, так и всей информационной структуры. В результате НВВ возникают первичные последствия, которые выражаются в нарушении работоспособности элементов, связей, а также работы функционирования параметров и характеристик информационной структуры. Вследствие чего параметры и характеристики НИС достаточно сложно формализовать, используя детерминированный, статистический или стохастический подходы, поэтому в этом случае единственным возможным и наиболее хорошо себя зарекомендовавшим является подход, основанный на использовании качественной информации и как следствие применение методов теории нечетких множеств.

Использование качественных данных и сведений об информационной структуре обуславливает целесообразность применения нечетких производственных моделей, которые позволяют наглядно отобразить информационные процессы и их взаимодействие. Однако данный тип модели приводит к существенным вычислительным затратам и как следствие снижению эффективности.

В связи с этим актуальным является применение нечетких продукционных моделей (НПМ) с использованием нечетких нейронных продукционных сетей (ННПС), которые позволяют повысить эффективность проводимых расчетов, которая обуславливается сокращением временных затрат.

Вышесказанное определяет **практическую задачу** – сокращения времени расчета оценки живучести систем с НИС с целью повышения эффективности их функционирования в условиях НВВ и соответствующую ей **научную задачу**, которая заключается в построении моделей и алгоритмов оценки живучести системы с НИС, связывающих ее качественные характеристики и количественные переменные для сокращения времени расчета.

**Объект исследования:** системы с нечеткой информационной структурой.

**Предмет исследования:** модели и алгоритмы, обеспечивающие сокращение времени расчета оценки живучести систем с НИС.

**Цели и задачи.** Целью исследования является сокращение времени расчета оценки живучести НИС при НВВ на основе использования разработанных моделей и алгоритмов, основанных на совместном использовании качественной и количественной информации о ее характеристиках. Для достижения цели и решения научной задачи были поставлены следующие частные задачи:

1. Провести анализ существующих методов и подходов к оценке живучести информационных структур.

2. Построить нечеткую продукционную модель оценки живучести информационных структур.

3. Построить нечеткую нейросетевую модель, алгоритм перехода от нечеткой продукционной модели к соответствующей ей нечеткой нейросетевой модели и алгоритм обучения нечеткой нейронной продукционной сети.

4. Провести вычислительный эксперимент с использованием разработанных моделей и алгоритмов оценки живучести систем с НИС с оценкой достоверности полученных результатов.

**Научная новизна** исследования заключается в разработке:

– Нечеткой продукционной модели оценки живучести НИС, отличающейся использованием лингвистических переменных (территориальная распределенность, количество элементов и многообразие связей между ними, дальность передачи между узлами, возможность разрыва связи, сложность системы), характеризующих ее структуру и параметры для свертки которых используются однопараметрические Т-нормы, параметры которых уточняются вследствие решения оптимизационной задачи, для решения которой применяется разработанный алгоритм, использующий метод чисел Фибоначчи совместно с правилом Голдстейна.

– Алгоритма перехода от построенной нечеткой продукционной модели к соответствующей ей нечеткой нейронной продукционной сети, отличающегося наличием пяти этапов каждый из которых представлен набо-

ром правил для свертки которых применяется однопараметрическая Т-импликация, модифицирующей вывод Мамдани.

– Алгоритма обучения нечеткой нейронной продукционной сети, основанный на использовании предложенного квазидискретного Ньютоновского метода с немонотонной стабилизацией, в котором для решения задачи одномерной оптимизации используется модификация метода чисел Фибоначчи, основанного на применении правила Голдстейна.

**Методология и методы исследования.** Методология исследования основывается на принципах системного анализа и общей теории систем. При решении поставленных задач в работе были использованы методы: теории систем, системного анализа, теории нечетких множеств, теории нейронных сетей, теории графов и имитационного моделирования.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Теоретическая значимость результатов исследования состоит в развитии математического аппарата теории нечетких множеств, нейронных сетей для решения задачи повышения эффективности функционирования НИС за счет сокращения времени расчета оценки живучести НИС при НВВ с помощью разработанных моделей и алгоритмов, обеспечивающих перестроение структуры.

Практическая значимость работы заключается в применении программной реализации разработанных моделей и алгоритмов для исследования систем с НИС при действии НВВ.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

– Нечеткая продукционная модель оценки живучести НИС, в которой используются лингвистические переменные (территориальная распределенность, количество элементов и многообразие связей между ними, дальность передачи между узлами, возможность разрыва связи, сложность системы), характеризующие ее структуру и параметры, позволяющая получить оценку живучести НИС в условиях НВВ.

– Алгоритм перехода от нечеткой продукционной модели к соответствующей ей нечеткой нейросетевой продукционной сети, позволяющий снизить вычислительные затраты расчета оценки живучести НИС.

– Алгоритм обучения нечеткой нейронной сети, использующий разработанный квазидискретный Ньютоновский метод с немонотонной стабилизацией, который позволяет сократить время обучения.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность результатов работы основана на корректном применении математического аппарата теории графов, нечетких множеств, эволюционного моделирования; использования современных методов распределения информационных потоков и ресурсов информационных структур; на результатах вычислительного эксперимента, совпадениях результатов, полученных в работе с результатами других авторов.

Основные результаты работы представлены и обсуждены на следующих конференциях: XI Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» г. Воронеж,

10-11 февраля 2011 г.; XIV Международной научно-практической конференции-выставки «Актуальные проблемы информатики и информационных технологий», г. Тамбов, 22 марта 2010 г.; II-ой международной кластерной научно-практической конференции «Аспекты ноосферной безопасности в приоритетных направлениях деятельности человека», Москва, 11 февраля 2011 г., VIII Всероссийской научно-практической конференции «Математические методы и информационно-технические средства», г. Краснодар, 22-23 июня 2012 г., XIII Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии», г. Воронеж, 7-8 февраля 2013 года, а также на семинарах кафедры «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВПО «ТГТУ». В 2012 году результаты диссертационной работы использованы в прикладной НИР по программе Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере Старт 12 по направлению Информационных технологий, контракт № 10647р/19106. В 2012 году результаты диссертационного исследования использованы в заявках 13-08-00285 и 13-07-00118, поданных на конкурс инициативных научно-исследовательских проектов по программе РФФИ.

**Внедрение результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы использованы при обучении студентов кафедры «Информационные системы и защита информации» Института автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВПО «ТГТУ». Результаты диссертационной работы приняты к внедрению на кафедре «Информационные системы и защита информации» ФГБОУ ВПО «ТГТУ», в войсковой части 61460, ОАО «Медтехника» (г. Тамбов), ООО «КОНУС-ИТ» (г. Тамбов), что подтверждено актами о внедрении результатов исследований.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 29 работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, получено 6 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Объём и структура работы.** Диссертация, общий объём которой составляет 149 страниц, состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной научной литературы, включающего 148 наименований научных трудов на русском и иностранных языках. Основной текст диссертации содержит 59 иллюстраций и 3 таблицы.

Работа соответствует п. 2 «Исследование информационных структур, разработка и анализ моделей информационных процессов и структур» паспорта специальности 05.13.17 «Теоретические основы информатики».

Работа выполнена в рамках направления исследований научно-образовательного центра моделирования и управления информационными процессами и системами и информационной безопасности ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; научных школ ФГБОУ ВПО «ТГТУ» и Института радиотехники и электроники (ИРЭ) РАН; плана стратегического развития Института автоматизации и информационных технологий ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы, сформулирована цель работы, поставлены задачи, решение которых позволит достичь цели исследования.

В главе 1 **«Проблема оценки живучести информационных структур и ее изложение в научной литературе»** рассмотрена задача оценки живучести и сокращение времени расчета систем с НИС и их изложение в научной литературе. На основе изученных литературных источников проведен анализ информационных структур (ИС), проведена систематизация и анализ термина «живучесть», выделены основные свойства живучести определяющих качество функционирования ИС. Также были выделены основные методы и подходы к обеспечению живучести ИС для разработки аналитического и программного обеспечения нечеткая производственная модель оценки живучести информационных структур, которая является наиболее неизученным направлением обеспечения живучести ИС, и является актуальным решением для выполнения поставленной задачи.

Анализ предметной области показал, что недостаточно исследованы существующие методы оценки живучести с точки зрения сокращения времени расчета оценки живучести систем с НИС при НВВ.

- при вероятностном подходе вероятность разрыва канала ИС, как показано на практике, невозможно получить. Это требует больших материальных и временных затрат, и не является целесообразным.

- потоковые модели требуют определения тяготеющих пар логического ориентированного графа ИС, что на практике является достаточно трудной задачей.

- точный полиномиальный расчет оценки живучести ИС требует больших вычислительных затрат, т.к. вычисления возрастают экспоненциально с увеличением числа узлов и связей.

Использование нечеткой производственной модели (НПМ) и нечеткой нейронной производственной сети (ННПС) для исследования возможности сокращения времени получения оценки живучести является оправданным решением, так как с помощью ее решаются неформализованные задачи, что более эффективно по сравнению с традиционными методами, применяемыми при оценке живучести НИС.

Проведенный анализ позволил сформулировать цель работы и задачи исследования, решение которых позволит устранить существующие недостатки методов оценки живучести.

В главе 2 **«Производственная и нейросетевая модели расчета оценки живучести информационных структур»** проведен сравнительный анализ нейронных сетей и выбор оптимальной нейросетевой модели для решения поставленной задачи. Разработана нечеткая производственная модель оценки живучести ИС. Так же разработана модель перехода от нечеткой производственной модели к соответствующей ей нечеткой нейронной сети.



При построении нечеткой продукционной модели введены лингвистические переменные: дальность передачи между узлами ( $x_1$ ), количество элементов и многообразие связей между ними ( $x_2$ ), возможность разрыва связей ( $x_3$ ), сложность системы ( $x_4$ ), территориальная распределенность ( $x_5$ ) и т.п.

Далее формализуем лингвистические переменным в следующем виде  $\langle x_1, T_1, X_1, G_1, M_1 \rangle$ , где

$x_1$  – «дальность передачи между узлами»;  $T_1$  – {«малая», «средняя», «высокая»};  $X_1$  – [0, 1000];  $G_1$  – процедура образования новых термов с помощью различных связок и модификаторов;  $M_1$  – процедура задания на  $X_1 = [0, 1000]$  нечетких подмножеств  $A_{11}$  = «малая»,  $A_{12}$  = «средняя»,  $A_{13}$  = «высокая».

$x_2$  – «количество элементов и многообразие связей между ними»;  $T_2$  – {«малое», «среднее», «большое»};  $X_2$  – [0, 100];  $G_1$  – процедура образования новых термов с помощью различных связок и модификаторов;  $M_2$  – процедура задания на  $X_2 = [0, 100]$  нечетких подмножеств  $A_{21}$  = «малое»,  $A_{22}$  = «среднее»,  $A_{23}$  = «большое».

$x_3$  – «возможность разрыва связей»;  $T_3$  – {«низкая», «средняя», «высокая»};  $X_3$  – [0, 100];  $G_1$  – процедура образования новых термов с помощью различных связок и модификаторов;  $M_3$  – процедура задания на  $X_3 = [0, 100]$  нечетких подмножеств  $A_{31}$  = «низкая»,  $A_{32}$  = «средняя»,  $A_{33}$  = «высокая».

$x_4$  – «сложность системы»;  $T_4$  – {«простая», «сложная», «очень сложная»};  $X_4$  – [0, 100];  $G_1$  – процедура образования новых термов с помощью различных связок и модификаторов;  $M_4$  – процедура задания на  $X_4 = [0, 100]$  нечетких подмножеств  $A_{41}$  = «простая»,  $A_{42}$  = «сложная»,  $A_{43}$  = «очень сложная».

$x_5$  – «территориальная распределенность»;  $T_5$  – {«локальные», «региональные», «глобальные»};  $X_5$  – [0, 1000];  $G_1$  – процедура образования новых термов с помощью различных связок и модификаторов;  $M_5$  – процедура задания на  $X_5 = [0, 1000]$  нечетких подмножеств  $A_{51}$  = «малое»,  $A_{52}$  = «среднее»,  $A_{53}$  = «высокое».

$y_1$  – «живучесть»;  $T_1$  – {«низкая», «средняя», «высокая»};  $Y_1$  – [0, 100];  $G_1$  – процедура образования новых термов с помощью различных связок и модификаторов;  $M_1$  – процедура задания на  $Y_1 = [0, 100]$  нечетких подмножеств  $B_{11}$  = «низкая»,  $B_{12}$  = «средняя»,  $B_{13}$  = «высокая».

Затем формируем базу нечетких правил на основе алгоритма Мамдани из множества отдельных нечетких продукционных правил вида «ЕСЛИ  $A$ , ТО  $B$ » (где  $A$  и  $B$  – предпосылка и заключение правила), который является достаточным для решения поставленной задачи.

Фрагмент правил нечеткой продукционной модели представлен следующим образом:

$\Pi_1$ : ЕСЛИ «дальность передачи» есть «высокая» И «количество элементов» есть «большое» И «разрыв связи» есть «высокая» И «сложность структуры» есть «сложная» И «территориальная распределенность» есть

«глобальная», ТО «живучесть» есть «низкая»

(П<sub>1</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{13}$  И  $x_2$  есть  $A_{23}$  И  $x_3$  есть  $A_{31}$  И  $x_4$  есть  $A_{43}$  И  $x_5$   
есть  $A_{53}$  то  $B_{11}$ )  
⋮

П<sub>30</sub>: ЕСЛИ «дальность передачи» есть «низкая» И «количество элементов» есть «малое» И «разрыв связи» есть «низкая» И «сложность структуры» есть «мало сложная» И «территориальная распределенность» есть «локальная», ТО «живучесть» есть «высокая»

(П<sub>30</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{11}$  И  $x_2$  есть  $A_{21}$  И  $x_3$  есть  $A_{31}$  И  $x_4$  есть  $A_{41}$  И  $x_5$   
есть  $A_{51}$  то  $B_{33}$ )

По каждому из правил производим активизацию (определение степеней истинности) заключений.

Для агрегации условия  $i$ -го правила в системе вывода используется однопараметрическая Т-норма вида

$$\frac{ab}{\gamma + (1 - \gamma)(a + b - ab)}. \quad (1)$$

где  $a, b$  - функции принадлежности, а  $\gamma$  - параметр подбирается в процессе решения оптимизационной задачи.

Эта продукционная модель позволяет получить оценку живучести систем с НИС в условиях НВВ, но это приводит к большим вычислительным затратам поэтому целесообразным является переход от разработанной модели к ННПС.

В процессе построения ННПС при  $M$  правилах вывода агрегирование выходного результата сети производится по формуле:

$$y(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^M w_i} \sum_{i=1}^M w_i y_i(x), \quad (2)$$

где  $y_i(x) = p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij} x_j$ .

В разработанной ННПС используется пять слоёв:

1. Первый слой выполняет раздельную фазификацию входного вектора  $x' = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ , определяя для каждого  $i$ -го правила вывода значение коэффициента принадлежности  $\mu_A^{(i)}(x_j)$  заданных гауссовыми функциями принадлежности с параметрами  $(a_{ij}, b_{ij})$ . В этом слое подлежат изменению параметры  $(a_{ij}, b_{ij})$  которые изменяются в процессе обучения сети и этот слой является параметрическим.

2. Второй слой выполняет агрегирование отдельных переменных  $x'$ , определяя результирующее значение коэффициента функции принадлежности  $w_i = \mu_A^{(i)}(x)$  для входного вектора  $x$  в соответствии с ранее

представленной формулой (2). Этот слой не меняется в процессе создания сети и не является параметрическим.

3. Третий слой рассчитывает значения по формуле  $y_i(x) = p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij}x_j$  и представляет собой генератор функции. Также здесь происходит умножение выходных сигналов  $y_i(x)$  на весовые значения  $w_i$ , сформированные в предыдущем слое. В этом слое изменения подлежат линейные веса  $p_{ij}$  для  $i = 1, 2, \dots, M$  и  $j = 1, 2, \dots, N$  и он является параметрическим слоем.

4. Четвёртый слой состоит из двух нейронов, которые называются сумматорами, которых один рассчитывает взвешенную сумму сигналов  $y_i(x)$ , а второй сумматор определяет сумму весовых коэффициентов  $\sum_{i=1}^M w_i$ . Данный слой не изменяется в процессе обучения и не является параметрическим.

5. Пятый слой состоит из одного нормализующего элемента, который выполняет дефаззификацию выходной переменной. Это также не параметрический слой.

При уточнении функциональной зависимости (2) для нечеткой нейронной сети получено:

$$y(x) = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \left[ \prod_{j=1}^N T(\mu_A^{(i)}(x), \mu_A^{(i+1)}(x)) \right]} \sum_{i=1}^M \left[ \prod_{j=1}^N T(\mu_A^{(i)}(x), \mu_A^{(i+1)}(x)) \right] \times \left[ p_{i0} + \sum_{j=1}^N p_{ij}x_j \right] \quad (3)$$

где  $T(\mu_A^{(i)}(x), \mu_A^{(i+1)}(x))$  – однопараметрическая Т-норма вида (1).

Значение  $\gamma$  является решением оптимизационной задачи вида:

$$f(\gamma) \rightarrow \min_{\gamma}$$

$$f(\gamma) = \sum_{i=1}^n (T_i(a, b, \gamma) - T_{зад})^2$$

где  $i = \overline{1, n}$  – номер правила в продукционной модели, однопараметрическая Т-норма (1), которая ограничена снизу.

Поставленная задача решалась методом чисел Фибоначчи, применение которого стало возможным вследствие того, что использование правила Голдстейна позволило определить правую границу изменения переменной  $\gamma$ .

Разработанные продукционная и нейростевая модели позволили связать качественные и количественные параметры и характеристики НИС, с целью обеспечения расчета оценки живучести на основе использования однопараметрических Т-норм и Т-импликации. Рассмотрим алгоритмическое обеспечение, реализующее процессы перехода от НПМ к ННПС, обучения ННПС на основе квазидискретного Ньютоновского метода с немонотонной стабилизацией.

В главе 3 «Алгоритмы, реализующие продукционную и нейросетевую модели расчета оценки живучести информационных структур» Предложен алгоритм перехода от НПМ к соответствующей ей ННПС, который использует Т- импликацию модифицирующей нечеткий вывод Мамдани и алгоритм обучения ННПС, использующий разработанный квазидискретный Ньютоновский метод с немонотонной стабилизацией, который позволяет сократить количество вычисляемых операций по сравнению с другими градиентными методами и тем самым сократить время обучения.

Алгоритм перехода от НПМ, построенной в главе 2, к соответствующей ей ННПС представлен в виде диаграммы деятельности на рисунке 3.1 и реализуется 5-ю этапами:

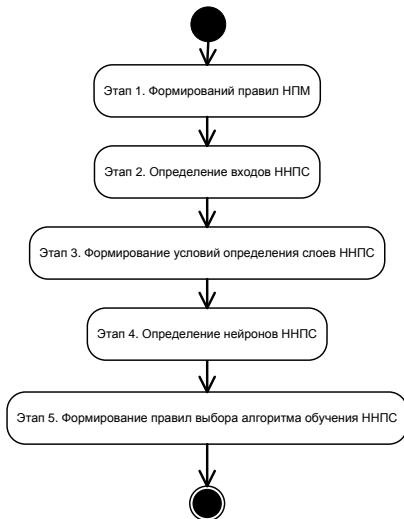


Рис. 1. Алгоритм перехода от НПМ к соответствующей ей ННПС.

Этап 1. Формирование правил НПМ рассмотрен и представлен в главе 2.

Этап 2. Определение входов ННПС заключается в формировании нечетких правил и использовании однопараметрической Т-импликации, модифицирующей вывод Мамдани.

Этап 3. Определение количества слоев ННПС заключается в формировании нечетких правил и использовании однопараметрической Т-импликации, модифицирующей вывод Мамдани.

Этап 4. Определение количества нейронов и скрытых слоев, которые уточняются в процессе программной реализации.

Этап 5. Выбор алгоритма обучения ННПС осуществляется с помощью правил:

П<sub>1</sub>: ЕСЛИ «время обучения ННПС» есть «малое» И «допустимая ошибка обучения ННПС» есть «малая», ТО «алгоритм обучения ННПС» есть «алгоритм 1»

(П<sub>1</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{11}$  И  $x_2$  есть  $A_{21}$  то  $B_{11}$ )

П<sub>2</sub>: ЕСЛИ «время обучения ННПС» есть «малое» И «допустимая

ошибка обучения ННПС» есть «средняя», ТО «алгоритм обучения ННПС» есть «алгоритм 1»

*(П<sub>2</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{11}$  И  $x_2$  есть  $A_{22}$  то  $B_{11}$ )*

П<sub>3</sub>: ЕСЛИ «время обучения ННПС» есть «малое» И «допустимая ошибка обучения ННПС» есть «большая», ТО «алгоритм обучения ННПС» есть «алгоритм 3»

*(П<sub>3</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{11}$  И  $x_2$  есть  $A_{23}$  то  $B_{13}$ )*

П<sub>4</sub>: ЕСЛИ «время обучения ННПС» есть «среднее» И «допустимая ошибка обучения ННПС» есть «средняя», ТО «алгоритм обучения ННПС» есть «алгоритм 2»

*(П<sub>4</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{12}$  И  $x_2$  есть  $A_{22}$  то  $B_{12}$ )*

П<sub>5</sub>: ЕСЛИ «время обучения ННПС» есть «высокое» И «допустимая ошибка обучения ННПС» есть «высокая», ТО «алгоритм обучения ННПС» есть «алгоритм 3»

*(П<sub>5</sub>: Если  $x_1$  есть  $A_{13}$  И  $x_2$  есть  $A_{23}$  то  $B_{13}$ )*

Обучения ННПС осуществляется на основе алгоритма обратного распространения ошибки, что приводит к необходимости решения задачи, которая состоит в коррекции параметров сети, чтобы мера погрешности, задаваемая выражением:

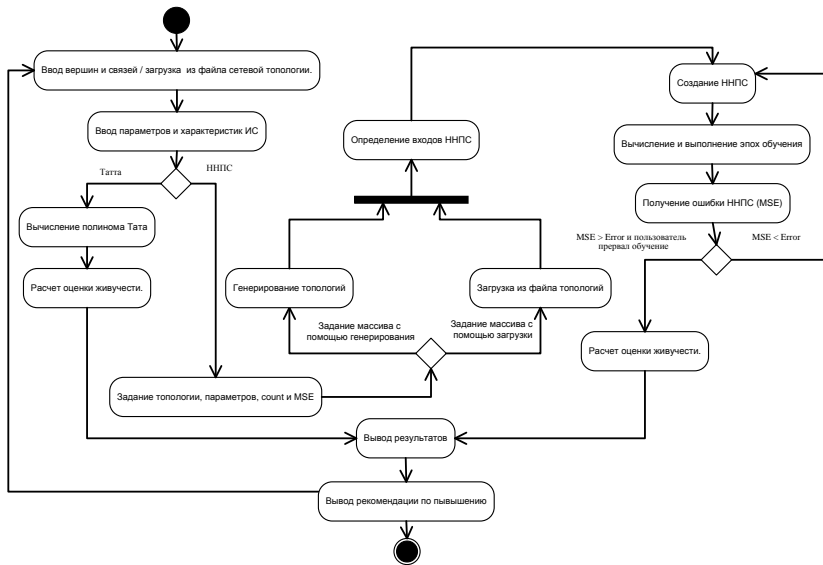
$$E(w) = \sum_{i=1}^N Q_i(w) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_i(w) - \tilde{y}_i)^2$$

была минимальной т.е.  $w^* = \arg \min_{w \in R^W} E(w)$

Степень близости вектора-ответа сети  $y_i$  на  $i$ -м примере и соответствующего вектора указаний учителя  $\tilde{y}_i$  при текущем векторе весов нейронной сети  $w \in R^W$ , где  $W$  – количество весовых коэффициентов ННПС.

Для решения поставленной оптимизационной задачи с целью увеличения производительности и повышения эффективности обучения будем использовать предложенный квазидискретный Ньютоновский алгоритм с методом немонотонной стабилизации. Стратегия немонотонной стабилизации основана на использовании двух критериев: проверке по уменьшению скорости выбранном направлении поиска и проверке по уменьшению значения целевой функции по установленному количеству итерации, что позволяет определить оптимальное направление поиска при этом величина шагового множителя при линейном поиске должна удовлетворять условию Арминья по отношению к максимальному значению функции на предыдущих шагах. Квазидискретный Ньютоновский алгоритм совместно с методом немонотонной стабилизации обеспечивает сокращение количества оценок Ньютоновского направления и экономию памяти в следствии использования предложенной аппроксимации матрицы Гесса.

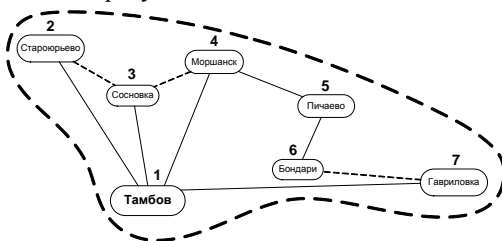
На рис. 2. представлена диаграмма деятельности, отображающая процессы генерации обучающих топологий, обучения ННПС, расчет оценки живучести НИС и выдачи рекомендации повышению функционирования.



**Рис. 2. Диаграмма деятельности разработанного программного обеспечения оценки живучести систем с НИС**

В главе 3 спроектированы диаграммы классов, прецедентов и деятельности всех предложенных алгоритмов, что позволило перейти к разработке программного обеспечения и проведению вычислительного эксперимента по расчету оценки живучести НИС.

В главе 4 «Программная реализация моделей и алгоритмов оценки живучести информационных систем» выбраны средства реализации и среда разработки программного обеспечения в соответствии с диаграммами деятельности, классов, прецедентов построенными в главе 3. Разработан программный комплекс оценки живучести систем с НИС, проведен вычислительный эксперимент и выполнена, оценена достоверности полученных результатов.



**Рис. 3. Фрагмент ИС Тамбовской области ОАО «Ростелеком»**

С применением разработанного программного обеспечения, реализующего ННПС на языках C++ и QT4, позволяющего провести оценку живучести, были исследованы системы с НИС ОАО «Ростелеком» (рис .3) и ИС ООО «Тамбовские мультимедийные сети».

В процессе проведения вычислительного эксперимента были использованы фрагменты систем с НИС в качестве которых рассматривались ОАО «Ростелеком» Тамбовской области и ООО «Тамбовские мультимедийные сети».

ные сети».

В разработанном программном обеспечении оценки живучести НИС процесс обучения ННПС осуществляется следующим образом:

- манипулятором мыши задаются вершины НИС;
- задается количество топологий для обучения (по умолчанию 150);
- с помощью

кнопки «Сгенерировать обучающие топологии» запускается процесс генерации, на каждом шаге производится точный полиномиальный расчет оценки живучести для сгенерированной топологии;

– после процесса генерации топологий с помощью кнопки «Обучить ННПС» запускается процесс обучения ННПС на основе сгенерированных топологий и рассчитанной оценки живучести для каждой топологии.

После обучения ННПС рассчитывается оценка живучести в блоке модуля «Оценка живучести».

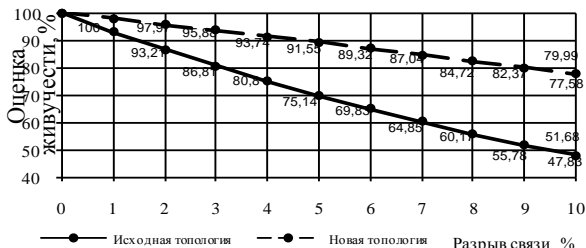


Рис.5. Оценки живучести фрагмента системы с НИС ООО «Тамбовские мультимедийные сети»

(Рис. 4.)

На рис. 5. представлены результаты по оценке живучести исходной и новой топологии НИС, образованной в следствии реализации выданных программным комплексом рекомендаций построенных на основе использования НПМ и ННПС разработанных в главе 2.

Можно сделать вывод, что при добавлении связей оценка живучести увеличивается, из чего следует корректность рабо-

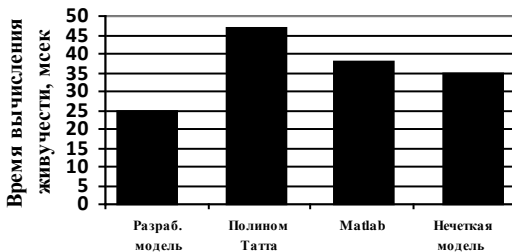


Рис.4. Сравнительный анализ времени оценки живучести одной и той же информационной структуры Тамбовской области ОАО «Ростелеком»

Проведен вычислительный эксперимент, позволивший осуществить сравнительный анализ времени расчета оценки живучести различными методами для фрагмента системы с НИС ООО «Тамбовские мультимедийные сети».

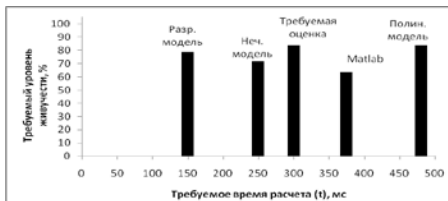


Рис.6. Сравнительный анализ существующих методов получения оценок систем с НИС ОАО «Ростелеком»

ты реализованных в программном обеспечении моделей и алгоритмов.

Анализ результатов вычислительного эксперимента по оценке эффективности применения разработанных моделей и алгоритмов, приведенные на рис.6. показал, что существующие методы оценки живучести систем не позволяют получить требуемую оценку за определенное время, что не позволяет провести перестройку структуры.

Результаты вычислительного эксперимента показали, что применение разработанных моделей и алгоритмов, сокращает время расчета оценки живучести систем с НИС на 10 - 15%, тем самым показывая эффективность применения разработанных моделей и алгоритмов.

#### **В заключении сформулированы основные результаты работы:**

1. Выполнен анализ существующих методов и подходов к оценке живучести информационных структур, который показал, что существующие модели и методы не могут обеспечить оценку живучести за требуемое время.

2. Построена нечеткая продукционная модель оценки живучести НИС, отличающейся использованием лингвистических переменных (территориальная распределенность, количество элементов и многообразие связей между ними, дальность передачи между узлами, возможность разрыва связи, сложность системы), характеризующих ее структуру и параметры для свертки которых используются однопараметрические Т-нормы, параметры которых уточняются вследствие решения оптимизационной задачи, для решения которой применяется разработанный алгоритм, использующий метод чисел Фибоначчи совместно с правилом Голдстейна., позволяющая получить оценку живучести систем с НИС в условиях НВВ.

3. Разработан алгоритм перехода от построенной нечеткой продукционной модели к соответствующей ей нечеткой нейронной продукционной сети, отличающегося наличием пяти этапов каждый из которых представлен набором правил для свертки которых применяется однопараметрическая Т-импликация, модифицирующей вывод Мамдани., позволяющий снизить вычислительные затраты расчета оценки живучести систем с НИС.

4. Разработан алгоритм обучения нечеткой нейронной продукционной сети, основанный на использовании предложенного квазидискретного Ньютоновского метода с немонотонной стабилизацией, в котором для решения задачи одномерной оптимизации используется модификация метода чисел Фибоначчи, основанного на применении правила Голдстейна., позволяющий сократить на 10 – 15% количество вычисляемых операций по сравнению с другими методами и тем самым сократить время обучения на 12 – 15 %.

В диссертации решена научная задача – построены модели и алгоритмы оценки живучести системы с НИС, связывающих ее качественные характеристики с переменными модели для оценки живучести, обеспечивающие сокращение времени расчета как на этапе проектирования, так и уже существующих информационных структур в условиях НВВ, а поставленная цель достигнута.



**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.** Разработанные модели целесообразно применять в организациях и учреждениях, занимающихся анализом живучести информационных структур, а также при разработке интеллектуальных систем оценки живучести информационных структур в различных областях народного хозяйства.

### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:*

1. **Применение** интеллектуальной экспертной системы для задачи выбора оптимальной схемы численного решения уравнения переноса / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, Д.В. Суслов, Ю.В. Кулаков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2012. - №3 – С.51-54

2. **Построение** нечетких запросов к реляционным базам данных / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, Ю.В. Удодов, Ю.А. Губсков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2012. - №7 - Стр. 6-10.

3. **Многокритериальная** задача оптимизации на нечетком множестве альтернатив / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, Ю.В. Удодов, Ю.А. Губсков // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. - 2012. - №8 - Стр. 8-12.

4. **Применение** кластерных вычислений для оценки живучести сетевых информационных структур / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, Ю.Ю. Громов, Ю.В. Минин // Информация и безопасность. – Воронеж: Изд. ВГУ. – 2014.

5. **Использование** теории возможностей при оценке живучести сетевых информационных структур / А.А. Долгов, Ю.Ю. Громов, М.А. Хорохорин, Ю.В. Минин // Информация и безопасность. – Воронеж: Изд. ВГУ. – 2014.

*Статьи и материалы конференций:*

6. **Хорохорин, М.А.** Оценка живучести нечетких сетевых информационных систем / М.А. Хорохорин // Вестник Воронежского института высоких технологий. -2010. -№7. –С. 255-258

7. **Хорохорин, М.А.** Исследование программного обеспечения моделирования и оценки нечетких сетевых информационных систем / М.А. Хорохорин // Гаудеамус. 2010. №2 (16). Материалы XIV Международной научно-практической конференции-выставки "Актуальные проблемы информатики и информационных технологий". Тамбов: Издательство ТГУ им. Г.Р. Державина, 2010. С. 323-326.

8. **Синтез** программного обеспечения моделирования и оценки живучести сетевых информационных систем / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов // Материалы II-ой международной кластерной научно-практической конференции "Аспекты ноосферной безопасности в приоритетных направлениях деятельности человека". 11 февраля 2011 года

9. **Применение** распределенных информационных систем для оценки живучести локальных вычислительных сетей / М.А. Хорохорин, Ю.Ю. Громов, Ю.В. Минин, В.В. Родин // Управление, технологии и безопасность в информационных системах специального назначения: Сборник научных трудов. – 2012. – С.66-69

10. **Применение** распределенных систем для оценки живучести сетевых структур в условиях неопределенности / М.А. Хорохорин, А.А.

Долгов // Сборник материалов открытой Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы деятельности подразделений УИС». Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2012. с.62.

11. **Сравнительный** анализ нейросетевых моделей оценки живучести сетевых структур, построенных с помощью Matlab и Qt / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов // Проблемы управления, информатизации и моделирования. - М: НПЦ «Модуль», 2012. - №3 – С.42-50.

12. **Моделирование** и оценка нечетких сетевых информационных систем с нахождением оптимальных путей в направленных нечетких графах / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов // Проблемы управления, информатизации и моделирования. - М: НПЦ «Модуль», 2012. - №3 – С.51-59.

13. **Методы** обеспечения и повышения живучести сетевых информационных систем / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, А.И. Елисеев, К.М. Копылов // Математические методы и информационно-технические средства: Труды VIII Всероссийской научно-практической конференции, 22-23 июня 2012 г. - Краснодар: Краснодарский университет МВД России, 2012. - 278 с. - С.75.

14. **К вопросу** исследования живучести информационных систем в рамках механики катастроф / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, А.И. Елисеев, Аль-Балуши // Прикладная математика, управление и информатика: сборник научных работ, 3 - 5 октября 2012 г. - Белгород: БелГУ. - 2012.- Т.1. - С. 122-125.

15. **Решение** задачи оценки живучести локальных вычислительных сетей с целью повышения устойчивости их функционирования / М.А. Хорохорин, А.А. Долгов, А.И. Елисеев, Ю.В. Минин // Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XIII Международной научно-методической конференции, Воронеж, 7-8 февраля 2013 г.: в 4 т. - Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. - Т. 1. - 2013. - С.387-390

*Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ*

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа: Алгоритм оценки живучести сетевых информационных систем с использованием нейронных сетей (АОЖСИСНС) / М.А. Хорохорин (RU); А.А. Долгов (RU); Ю.Ю. Громов (RU). № 20111610918; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 24.01.2011.

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа: Алгоритм оценки живучести нечетких сетевых информационных систем с использованием нейронных сетей (АОЖНСИСНС) / М.А. Хорохорин (RU); А.А. Долгов (RU); Ю.Ю. Громов (RU). № 20111610916; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 24.01.2011.

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа: Аудит сетевых систем с использованием искусственных нейронных сетей для оценки живучести (AuditLanSystemANN) / М.А. Хорохорин (RU); А.А. Долгов (RU). № 20111614062; зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 25.05.2011.

